

# Análisis estructural de depósitos de agua realizados en escuelas de Brasil

**Juan Manuel Orquín Casas**

Universidad Politécnica de Madrid

juanmanuel.orquin@upm.es

**José Antonio Mancebo Piqueras**

Universidad Politécnica de Madrid

ja.mancebo@upm.es

## Resumen

Se analiza la solución estructural empleada para la ejecución depósitos de agua de uso escolar en zonas rurales de Brasil. El estudio incluye desde el análisis teórico hasta el proceso de ejecución empleado, con el objetivo de evaluar estructuralmente la solución empleada y proponer mejoras si fuera necesario.

*Palabras clave: depósito, análisis estructural.*

## Resumo

Analizamos a solução estrutural utilizado para transportar tanques de água para uso escolar no Brasil rural. O estudo inclui desde a análise teórica para processo de execução empregado, com o objetivo de avaliar a solução utilizada estruturalmente e propor melhorias, se necessário.

*Palavras-chave: armazém, a análise estrutural.*

## 1. Análisis estructural de depósitos de agua realizados en escuelas de Brasil

### 1.1 Antecedentes

Este artículo se enmarca dentro de los trabajos realizados en el marco de la iniciativa “Agua en las Escuelas” en la que la UPM participa a través el Centro de Innovación en Tecnología para el Desarrollo Humano (itdUM), diseñado para garantizar el acceso al agua en colegios públicos de municipios de los nueve estados del “semiárido” brasileño, por medio de cisternas escolares. En concreto el proyecto firmado entre el Instituto Ambiental Brasil Sustentavel (IABS) y la Universidad Politécnica de Madrid, tiene por objeto definir y ejecutar una evaluación de impacto para el proyecto de Cisternas Escolares en 108 escuelas de 13 municipios del estado de Alagoas. CONDRI (Consortio para o Desenvolvimento da Região de Ipanema) es la organización responsable de la construcción de las cisternas y de la capacitación de sus beneficiarios.

*DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo*

*2013, 1, desde pág. 88 - hasta pág.96*

*ISSN: 2386 – 8546*

La evaluación que está llevando a cabo la UPM se compone de 3 partes principales, aunque el presente artículo se centra en la primera de ellas, que consiste en la evaluación técnica de la parte constructiva de las cisternas.

## 1.2. Introducción

El sistema de cisternas pluviales puede dividirse en tres partes principales:

- Obra civil, (fundamentalmente la cisterna o depósito)
- Hidráulica de captación y conducción al depósito
- Calidad del agua. Con componentes de prevención y otros de control de calidad

En esencia el sistema consta de una canalización horizontal abierta, para recogida del agua captada en la cubierta, que es conducida mediante otras canalizaciones colectoras hasta el depósito de acumulación (cisterna de 52 m<sup>3</sup> de capacidad), el depósito es semienterrado, cerrado en su mayor parte a la atmósfera, con cubierta cónica, con varias vías de entrada: ventilación, rebosadero, bomba, boca de hombre para entrada. De ahí el agua es extraída mediante una bomba manual y continúa su camino hasta los puntos de consumo: bebederos, baldes (con o sin desinfección), cocinas, etc.

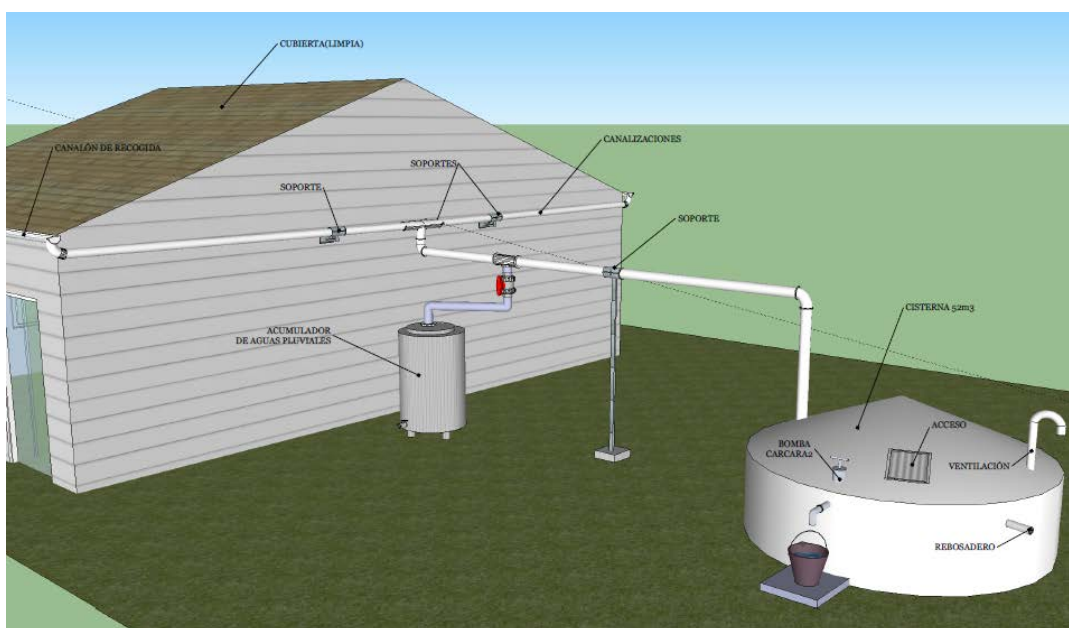


Figura 1. Esquema general del sistema de captación de agua de lluvia.

## 1.3. Descripción de la solución estructural adoptada para los depósitos

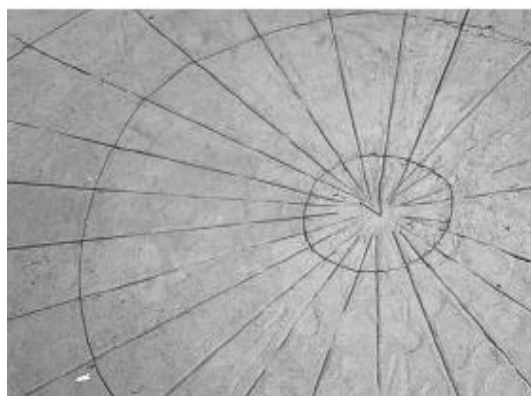
En las siguientes fotografías tomadas en un reciente viaje realizado entre 29 de junio y 8 de julio de 2013, puede verse la ejecución y la configuración estructural de los depósitos, ya ejecutados o en fase de ejecución.

Los depósitos son circulares de 5 m de diámetro y 2,6 m de altura y se encuentran parcialmente enterrados, lo que en principio puede ser favorable puesto que de esta manera los empujes del terreno puede contrarrestar en parte los empujes horizontales del agua, aunque la profundidad enterrada no debería superar nunca 1/3 de la altura total del depósito para que no se inviertan los empujes resultantes al ser la densidad de las tierras (secas)

aproximadamente el doble que la del agua. No obstante el cálculo estructural del depósito debe contemplar la hipótesis de que no se movilicen los empujes de las tierras.



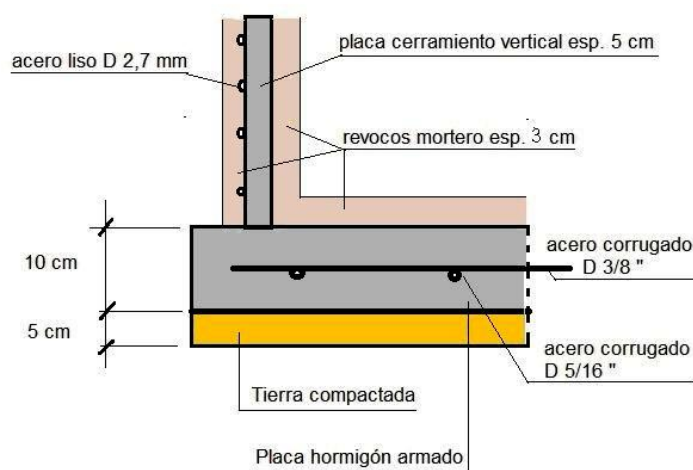
**Figura 2. Vaso para el depósito.**



**Figura 3. Armadura losa de fondo.**

La losa de base de hormigón armado es de 10 cm de espesor con solo una capa de armadura de acero corrugado dispuesta circular y radialmente, y se asienta sobre 5 cm de tierra compactada (figura 3). A simple vista parece insuficiente su espesor y el hecho de que la armadura dispuesta radialmente se interrumpe en el centro sin solapar.

La construcción de los paramentos verticales se realiza con placas fabricadas in situ de dimensiones 49,5x38x5 cm, construidas sobre un lecho de arena alisado, mediante un molde de madera con ligera curvatura. No se utilizan áridos gruesos, solo arena, cemento y agua. El mortero resultante es de consistencia plástica apreciable y no se aprecia malformación de las piezas al retirarse el molde.



**Figura 4. Depósito. Sección vertical construida. Placas base y arranque de paramento vertical.**





**Figura 5. Preparación para prefabricación.**



**Figura 6. Placas fabricadas in situ.**



**Figura 7. Construcción de pared.**



**Figura 8. Revocos de pared.**

Exteriormente a la pared y antes de aplicar el revoco se colocan cables de acero liso de 2,7mm de diámetro con una separación vertical aproximada de 10 cm. Para asegurar aún más la estanqueidad, se aplica un aditivo impermeabilizante añadido al mortero del revoco interior.

La cubierta se realiza mediante travesaños de sección rectangular, con solo dos armaduras longitudinales y sin estribos, también prefabricados in situ apoyados en el depósito y en un tubo situado en el centro del depósito de PVC que actúa de encofrado perdido para el posterior relleno de hormigón con una armadura vertical formada por tres barras verticales y estribos triangulares (similares a las celosías de forjado).



**Figura 9. Pared y vigas de cubierta.**



**Figura 10. Construcción del pilar.**

La cubrición del depósito se realiza con piezas también prefabricadas in situ, a modo de tejas, que apoyan en los anteriores travesaños. En todas las piezas fabricadas in situ no se ha observado que se vibre el hormigón para eliminar el aire interior formado en el fraguado.



**Figura 11. Piezas de cubierta.**



**Figura 12. Vigas.**

#### **1.4. Análisis estructural de los depósitos**

Se ha modelizado el depósito mediante un programa comercial de Elementos Finitos (SAP 2000) usando elementos placa de 4 cm de espesor. Se podría haber usado también elementos de membrana, pero los esfuerzos obtenidos demuestran que aunque se haya modelizado con elementos placa, el comportamiento es el característico de membrana.

La peor hipótesis de cálculo corresponde a la situación en la que el depósito se encuentra lleno y no se movilizan los empujes de las tierras. El techo del depósito no introduce empujes laterales al depósito al estar simplemente apoyados los travesaños en la coronación del depósito y ser el pilar central el que “actúe” como apoyo fijo de la cubierta. La carga vertical sobre los elementos placa del depósito es casi despreciable.

Del análisis de los resultados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. A pesar de que el espesor de la losa de fondo y la disposición de una única capa de armadura e interrumpida en el centro puede parecer insuficiente, el cálculo estructural realizado demuestra que la solución puede considerarse válida desde el punto de vista estructural, aunque al colocar el pilar central que soporta el techo del depósito en el centro se hace necesario solapar la armadura radial de la losa, puesto que se produce un esfuerzo local.

Sin embargo en el análisis estructural anterior no se ha considerado la hipótesis de posibles asentamientos diferenciales de la losa. Dado que no se compacta el terreno donde se asienta la losa de fondo y no se coloca un enchado de gravas que permita (a modo del balasto de las vías del tren) uniformizar asentamientos y tampoco el espesor y armado de la losa de fondo es suficiente para resistir los esfuerzos derivados de los asentamientos diferenciales, estos pueden provocar fisuras en la losa de fondo y en su unión con las paredes. Al no tener los elementos placa ninguna resistencia a tracción no tienen capacidad a cortante ante movimientos diferenciales de la losa de fondo. De hecho esta patología ya ha sido comprobada en algún depósito como el de la figura 18 que perdió todo el agua en apenas unos días.

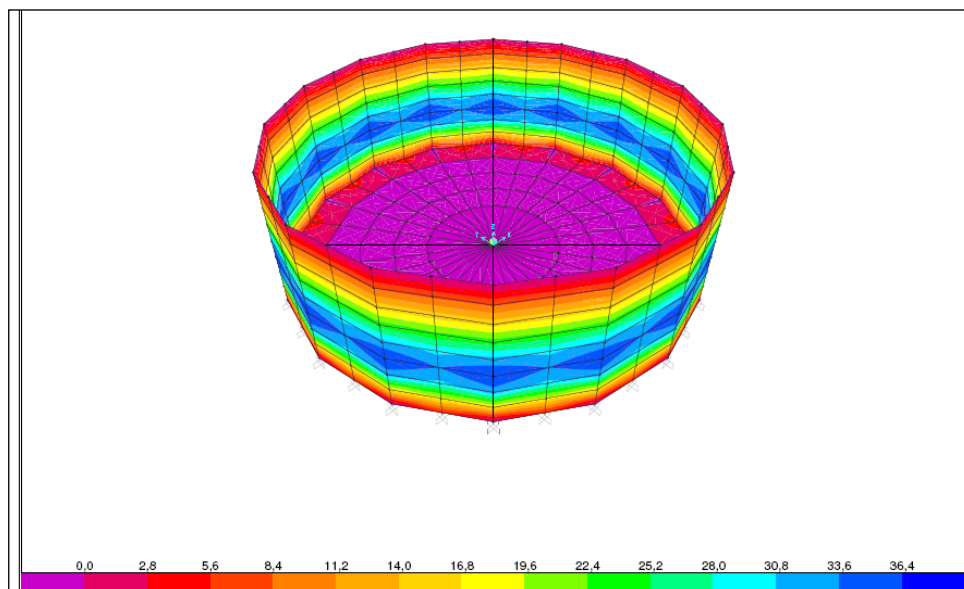
Otro posible problema a no muy largo plazo puede ser la durabilidad de la losa, debido a la baja calidad del hormigón por su bajo contenido en cemento, sumado al pequeño espesor de la misma y los escasos recubrimientos de la armadura.

2. Los esfuerzos en la pared del depósito son claramente en comportamiento en membrana, es decir, axiles radiales al depósito. A los elementos prefabricados colocados en la pared no se les puede confiar esta responsabilidad con lo que es el acero de los alambres que envuelve estos elementos los que soportan este esfuerzo de tracción.

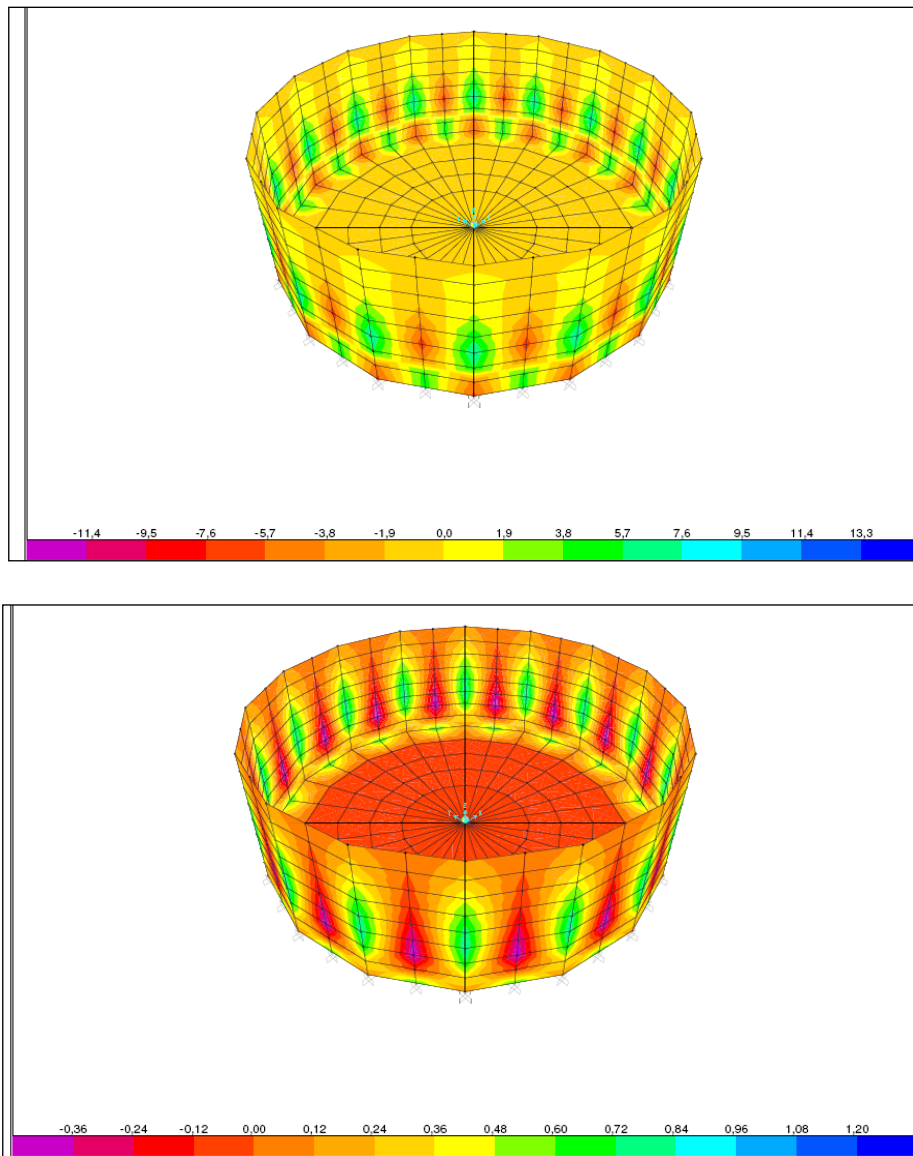
Del axil máximo obtenido, en torno a 36 KN/m (figura 13) se deduce que cada sección de cable (5/16") esta soportando un esfuerzo aproximado de 3.6 KN lo que suponiendo una tensión admisible para el acero liso de 200 Mpa podríamos decir que se tiene un coeficiente de seguridad de 2,8. Este coeficiente de seguridad debe comprender el coeficiente de minoración de materiales y el coeficiente de mayoración de cargas, pero parece suficiente.

De esta manera las placas actúan simplemente como soporte de los alambres y vaso del depósito, y con la única función estructural del soportar las cargas verticales del techo.

3. En el modelo anterior no se ha modelizado la tapa del depósito debido a que la carga sobre la pared es despreciable (concretamente si se considera el p.p de la cubierta y una sobrecarga de uso de  $100 \text{ kp/m}^2$  el axil sobre las placas de la pared es de  $0.3 \text{ kp/cm}^2$ ). Puede ser más importante la reacción del pilar central sobre la losa, por lo que se ha repetido el análisis anterior con una carga vertical en el centro de la losa de 20 KN (reacción estimada del pilar). No existe para esta carga posibles problemas de punzonamiento en la losa pero si se tienen tensiones en la losa locales que aconsejan solapar la armadura en el centro de la misma.







**Figuras 13,14 y 15 Diagramas de isovalores de axiles radial (sin mayorar), axiles vertical y Momentos Flectores.**

Mención aparte merecen las viguetas prefabricadas de la cubierta, ya que no disponen de armadura vertical, confiando toda la resistencia a esfuerzos cortantes a un hormigón de mala calidad, sin gravas y sin vibrar. No es necesario realizar ningún cálculo estructural para afirmar que puedan presentarse, aunque las cargas que soportan no sean grandes, patologías o colapsos estructurales en estos elementos como los de la figura 19.



**Figura 18. Fisuras en fondo y pared.**



**Figura 19. Rotura de viguetas de cubierta.**

### **1.5. Mejoras a implementar en los depósitos**

Aunque estructuralmente la solución es válida teóricamente, lo es solamente si se cumplen determinadas hipótesis favorables como terreno uniforme sin posibilidad de asentamientos diferenciales, dosificación correcta de los elementos fabricados in situ, correcta ejecución, etc. Es por ello que bastantes de los depósitos que hay ya en funcionamiento lo puedan hacer correctamente, pero entendemos que hay demasiadas variables con demasiada incertidumbre.

Por tanto, del análisis estructural anterior y del proceso de ejecución observado in situ en algunos de los depósitos se proponen las siguientes propuestas de mejora a implementar dentro de lo posible:

1. Es necesario mejorar la base en la que se asienta la losa de fondo, con una capa de gravas de al menos 15 cm, incrementar el espesor de dicha losa al menos también a 15 cm con una armadura continua.
2. Mejorar en lo posible la calidad de los materiales y concretamente del hormigón, aumentando el contenido en cemento e introduciendo gravas en las dosificaciones de los distintos elementos de tamaño máximo 20 mm y limitar el espesor mínimo de los elementos a 50 mm.
3. En cuanto al control de calidad del proceso de ejecución, es especialmente importante debido al pequeño espesor de los distintos elementos vigilar y asegurar el correcto vibrado en las piezas de hormigón. También los materiales usados y el uso de las correctas proporciones es importante.
4. Para evitar el colapso de las viguetas de la cubierta es necesario el empleo de estribos. Valdría colocar la misma celosía que se coloca en el pilar central.



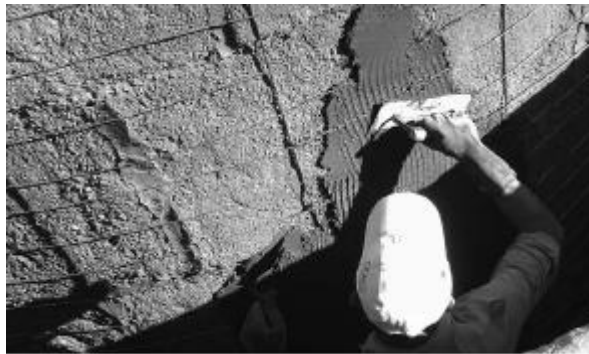
**Figura 16. Armadura colocada en los pilares y propuesta para las viguetas de cubierta.**

5. La durabilidad es otro aspecto claramente mejorable. Hay que tener en cuenta que los cambios más significativos en las distintas normativas del hormigón que se han ido sucediendo en las últimas décadas en todo el mundo han estado orientados a mejorar



la durabilidad de las estructuras. Esta se consigue principalmente mediante el empleo de hormigones más compactos, conseguidos a base de mayores relaciones agua/cemento, uso de aditivos, aumento de recubrimientos de armaduras, etc.

En el caso concreto del proyecto objeto de este artículo este aspecto se puede mejorar dando un mayor recubrimiento a la losa de fondo y al trasdos de la pared del depósito, ya que el cable dispuesto radialmente a lo largo de las paredes que es el elemento encargado de resistir las tracciones debido al empuje del agua esta protegido únicamente por un revoco. En la zona inferior (zona de máximo esfuerzo) la pared esta en contacto con el terreno, que puede ser agresivo en algún caso o puede darse el caso de que el nivel freático se encuentre en esos niveles con la agresividad que suponen las sales disueltas en el agua.



**Figura 16. Armadura radial exterior del depósito insuficientemente protegida.**

## Referencias

CALAVERA, José. Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado.; 1ª ed. Madrid: Intemac, 1996. 2 v. ISBN: 84-88764-02-2.

MONTOYA, Pedro. Hormigón Armado.; 7ª ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2000. 2 v. ISBN: 84-252-1825-X.

MINISTERIO DE FOMENTO DEL GOBIERNO DE ESPAÑA. Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Comisión Permanente del Hormigón. Mº Fomento. Madrid: 2008.